

The Application of Non-Inertial System in Solving Mechanics Problems in Senior High School

Huiyun Du¹, Yujing Huang¹, Shuiyuan Chen¹, Qingying Ye¹, Xueqie Yang²

¹College of Physics and Energy, Fujian Normal University, Fuzhou Fujian

²Xiamen No.1 Middle School of Fujian, Xiamen Fujian

Email: sychen@fjnu.edu.cn, yangxueqie@126.com

Received: May 28th, 2019; accepted: Jun. 11th, 2019; published: Jun. 18th, 2019

Abstract

Training of thinking ability in physics teaching is an important way to improve students' scientific literacy in middle school. Based on the perspective of exploring teaching strategies of high school physics methods, this paper analyzes and compares the solutions of four typical mechanical problems in senior high school with those of inertial system and non-inertial system respectively. It is expected to be helpful to the improvement of physics teaching methods and the improvement of students' thinking ability.

Keywords

High School Mechanics, Typical Exercises, Non-Inertial Reference System

非惯性系在高中力学解题的妙用

杜慧云¹, 黄宇静¹, 陈水源¹, 叶晴莹¹, 杨学切²

¹福建师范大学物理与能源学院, 福建 福州

²厦门第一中学, 福建 厦门

Email: sychen@fjnu.edu.cn, yangxueqie@126.com

收稿日期: 2019年5月28日; 录用日期: 2019年6月11日; 发布日期: 2019年6月18日

摘要

物理教学中思维能力训练是中学阶段提升学生科学素养的重要方式。文章从探索高中物理方法教学策略

角度,对高中阶段常见的四个典型力学问题,分别进行惯性系和非惯性系解法的分析对比,以期对中学物理教学方法的改进和学生思维能力的提升有所帮助。

关键词

高中力学, 典型习题, 非惯性参考系

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

研究物体的运动时,通常根据所研究内容的需要选择参考系。牛顿第二定律只在惯性参考系中成立,因此,直接利用惯性系解题成为一种思维定式。且由于高中知识体系的局限性,学生往往只选择地面参考系。在一些问题上在惯性参考系中求解很复杂。虽然非惯性系在高中物理课本也没有涉及,但在解决一些高中力学典型问题时,借助非惯性系可以使看似复杂的“魔鬼问题”蜕变为简单的“天使问题”。本论文结合参考系选取,对高中力学典型题目进行求解对比。通过教学实践,有助于学生开拓思维,提高科学素养。

2. 惯性系与非惯性系

实验表明,在有些参考系中,牛顿运动定律是适用的,凡是适用牛顿运动定律的参考系叫惯性系。且一切相对于惯性系做匀速直线运动的参考系也是惯性系[1]。所有惯性系对于描写机械运动的力学规律来说是等价的。

相对于惯性系做加速运动的参考系则是非惯性系[1]。简单来说,根据爱因斯坦相对论可知,任何一个相对地面具有加速度的物体都可以被当作非惯性系,牛顿运动定律对非惯性系不成立。高中阶段常见的有水平方向减速运动的汽车,竖直方向加速上升的电梯,沿光滑斜面下滑的物块,以一定加速度转动的圆盘等。

3. 惯性系在高中力学题目解题的局限性

描述物体运动首先要确定参考系,在不同参考系研究同一个物体,其运动规律可能不同。高中阶段参考系是一个基本物理概念,容易被理解但也容易被忽略。部分学生在研究物体运动时常常直接忘记选择参考系或者“约定俗成”地选择地面参考系。诚然地面参考系在研究某些运动中有相当优势,但当研究对象涉及两个或两个以上物体时,若仍选择地面为参考系,就需要对涉及的研究对象进行受力和运动分析,列关系式进行求解,难免会出现计算过程复杂繁琐导致解不出答案情况[2]。对于这类题目若将参考系选为非惯性系,对运动的描述就会不同,看似复杂繁琐的问题便可迎刃而解。

4. 选用惯性系与非惯性系的解题对比

灵活的选取惯性系和非惯性系能够简化思路,化繁为简[3]。下面给出高中常见的四个力学问题的两种解法对比。

4.1. 抛体问题

例 1 高空中有四个小球,在同一位置同时以相同的速率向上、向下、向左、向右射出,不计一切阻力。经过 1 s 后 4 个小球在空中位置的构图将是图 1 中的()

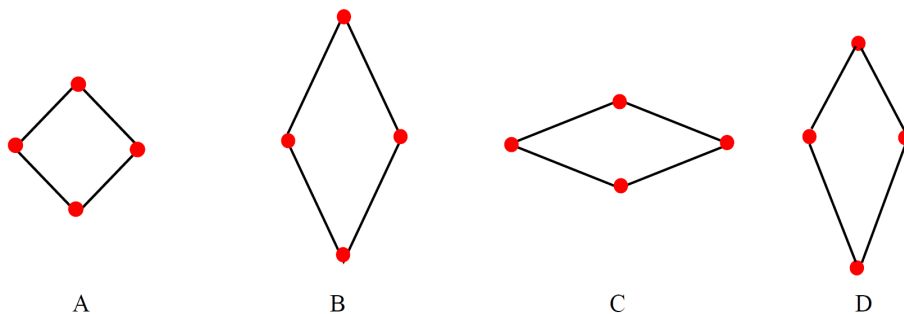


Figure 1. Title example
图 1. 题目示例

解法一：选用地面参考系

首先对四个小球受力和运动分析，四个小球均受重力，因此分别做竖直上抛运动、竖直下抛运动、向左平抛运动和向右平抛运动。根据公式计算一秒后四个小球的位移，再建立坐标系，运用数学知识可得是正方形。

解法二：以 $a = g$ 的竖直向下非惯性系为参考系

四个小球分别做向上、向下、向左和向右的匀速直线运动，因而所构成图形对角线相等且垂直，很容易得到答案 A。

评价：由于抛体运动可分解为竖直方向的自由落体运动和水平方向的匀速直线运动。该题选择自由落体参考系，可将地面参考系的抛体运动转化为匀速直线运动，在学生能够理解的程度上做到化繁为简。适当的参考系可化抛体运动为直线运动、化螺旋运动为直线运动、化往返运动为单向运动、化摆动为圆周运动[4]。

4.2. 追及相遇问题

例 2 处于平直公路上的 A、B 两车相距为 L ，B 车在前。在 $t = 0$ 时刻时，两车同时同向开始运动。A 车以初速度 v_0 ，加速度 a_1 做匀加速直线运动。B 车从静止开始做加速度为 a_2 的匀加速直线运动，则下列情况中可能发生的是()

- A. $a_1 = a_2$ ，A、B 相遇一次。
- B. $a_1 > a_2$ ，A、B 相遇两次。
- C. $a_1 < a_2$ ，A、B 可能不会相遇。
- D. $a_1 < a_2$ ，A、B 可能相遇一次。

解法一：选用地面为参考系

设经 t 时间，A、B 相遇，则 A、B 的位移分别为 $S_A = v_0t + \frac{1}{2}a_1t^2$ 、 $S_B = \frac{1}{2}a_2t^2$ 。相遇时满足 $S_A = S_B + L$ ，

综合以上三式可得 $(a_1 - a_2)t^2 + 2v_0t - 2L = 0$ 。

讨论：① $a_1 = a_2$ 时，为关于时间的一元一次方程，只有一解。所以两车相遇一次；

② $a_1 \neq a_2$ 时，为关于时间的一元二次方程。由求根公式得 $t = \frac{-2v_0 \pm \sqrt{4v_0^2 + 8(a_1 - a_2)L}}{2(a_1 - a_2)}$ 。当 $a_1 > a_2$ ，

只有一个正根，即两车相遇一次；当 $a_1 < a_2$ ，若 $\Delta < 0$ ，方程无解，两车不相遇，若 $\Delta = 0$ ，只有一个正根，即两车相遇一次，若 $\Delta > 0$ ，方程有两解，可能有一个正根，可能有两个正根，因此可能相遇一次，可能相遇两次。

解法二：以 B 车为参考系

则 A 车相对于 B 车的加速度为 $a_{AB} = a_1 - a_2$ ，A 车相对于 B 车的初速度为 $v_{AB} = v_0$ 。

讨论：① $a_1 = a_2$ 时，A 车相对于 B 车做匀速直线运动，相遇一次；② $a_1 > a_2$ 时，A 车相对于 B 车做

匀加速直线运动, 相遇一次; ③ $a_1 < a_2$, A 车相对于 B 车做匀减速直线运动, 可能不相遇, 可能相遇一次, 可能相遇两次。正确答案为 ACD。

评价: 分析追及相遇问题方法较多, 常见有公式法和图像法。该题选择地面参考系, 需要进行繁琐数学计算和分类讨论, 对于数学基础一般的学生容易因计算错误或者答案不完整造成丢分。而以 B 车为参考系, 化 A、B 两车相对运动为 A 车直线运动, 分类讨论后可简单省时得到结果。

4.3. 滑块木板问题

例 3 如图 2 所示, 质量 $M = 4.0 \text{ kg}$ 的长木板 B 静止在光滑的水平地面上, 在其右端放一质量 $m = 1.0 \text{ kg}$ 的小滑块 A (可视为质点)。初始时刻, A、B 分别以 $v_0 = 2 \text{ m/s}$ 向左、向右运动, 最后 A 恰好没有滑离 B 板。已知 A、B 间的动摩擦因数 $\mu = 0.40$, 取 $g = 10 \text{ m/s}^2$ 。求: 木板的长度。



Figure 2. Title example
图 2. 题目示例

解析: A、B 分别受到摩擦力的作用, 根据牛顿第二定律。对 A: $\mu mg = ma_A$ 则 $a_A = 4 \text{ m/s}^2$, 方向水平向右。对 B: $\mu mg = Ma_B$ 则 $a_B = 1 \text{ m/s}^2$, 方向水平向左。

解法一: 选择地面为参考系

A 先向左做匀减速直线运动至速度为零, 后相对于地面向右做匀加速直线运动, 加速度大小仍为 $a_A = 4 \text{ m/s}^2$ 。B 一直向右做匀减速直线运动。当 A 相对地面速度为零经历时间 $t_1 = 0.5 \text{ s}$, 此时 $v_B = 1.5 \text{ m/s}$ 。A、B 再次共速经历时间为 t_2 , 代入公式可解得 $t_2 = 0.3 \text{ s}$ 。从零时刻到 A、B 共速过程利用位移公式可得 $L = S_A + S_B = 0.32 \text{ m} + 1.28 \text{ m} = 1.60 \text{ m}$

解法二: 选择木板 B 为参考系

A 相对于 B 的初速度 $v_{AB} = 4 \text{ m/s}$ 方向水平向左, A 相对于 B 的加速度 $a_{AB} = 5 \text{ m/s}^2$ 。当 A、B 共速时, A 相对于 B 的速度为零。则利用速度位移公式得 $L = 1.60 \text{ m}$ 。

评价: 滑块木板模型深受高考命题的“宠爱”, 这类问题通常涉及不仅一个运动过程、并涉及摩擦力的大小方向判断、甚至存在隐含摩擦力方向的突变。故要求学生对整个过程中做出正确的受力和运动分析, 才可能得到正解。因此对于运动过程较繁琐的题目如例 3, 选择 B 这一非惯性参考系, 可化 A、B 相对运动和 A 的往返直线运动为 A 的单向直线运动, 无需计算 A 减速为零的时间和此时 B 的速度, 可减少运动过程的分析。

4.4. 牵连运动问题

例 4 如图 3 所示, 有一直角框架 MON, 粗糙杆 MO 水平摆放, 光滑杆 NO 竖直摆放。杆 MO 上套有圆环 A, 杆 NO 上套有圆环 B。两圆环为 m 相等且由长度为 l 的轻杆连接。现使圆环 A 做加速度为 a 的匀加速运动, 若某时刻轻杆与杆 NO 的夹角为 θ , 圆环 A 的速度为 v , 求此时圆环 B 的加速度大小。

解法一: 选择地面参考系

因为圆环 A 和圆环 B 通过轻杆连接, 因此它们在沿杆方向的速度相等, 即 $v_A \sin \theta = v_B \cos \theta$, 移项得 $v_B = v_A \tan \theta$ 。根据公式 $\Delta v = a \Delta t$, 当 $\Delta t \rightarrow 0$, 则该时刻 B 的加速度 $a_B = \frac{dv_B}{dt} = \frac{d(v_A \tan \theta)}{dt}$, 化简可

$$\text{得 } a_B = a_A \tan \theta + \frac{v_A^2}{l \cos^3 \theta}。$$

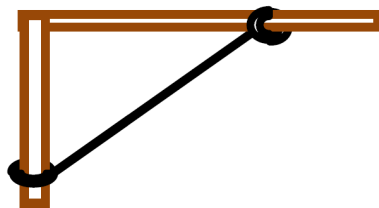


Figure 3. Title example

图 3. 题目示例

解法二：选择圆环 A 为参考系

将圆环 A 与圆环 B 的速度沿杆和垂直杆方向分解，即 $v_A = v_A \sin \theta + v_A \cos \theta$ ， $v_B = v_B \sin \theta + v_B \cos \theta$ 。选择 A 为参考系，则 B 相对于 A 的速度 $v_{AB} = v_A \cos \theta + v_B \sin \theta$ ，方向和轻杆的垂直，圆环 B 相对于圆环 A 做圆周运动。同样的方法分解两个圆环的加速度，可以得到圆环 B 相对于 A 的法向加速度为

$$a_{AB} = a_B \cos \theta - a_A \sin \theta。根据 v_{AB}^2 = a_{AB} l，可得 a_B = a_A \tan \theta + \frac{v_A^2}{l \cos^3 \theta}。$$

评价：牵连运动问题是高中力学部分的典型问题之一，解决深入问题的前提是要找到连接体之间的速度关系。学生通常以地面为参考系，采用运动的合成和分解配合几何关系进行求解。但对于某些题目如例 4，采用传统的方法需要进行复合求导，对学生要求数学能力要求较高。选用圆环 A 这一非惯性参考系求解，其优势显而易见。

5. 结语

虽然在高中阶段并不要求掌握非惯性系概念与应用，但在高考中经常会出现相关的题目，这些考题的计算过程是基于地面参考系而设计的，计算起来相当的繁琐费时，对学生的计算能力要求较高。如果学生能了解并掌握非惯性系解题应用，对于学生的思维能力提升，解答相关问题甚至相关高考试题时可以另辟蹊径，会有“云开月明”之感，从而提高解题效率和正确率。本文认为在高中阶段可以针对非惯性系的概念及应用开展一些教学探讨，这对于学生的物理思维训练，提升科学素养会有很好的促进作用，对学生参加高考或应对高校自主招生考试也会有很好的帮助。

基金项目

本论文感谢福建省高校教育教学改革研究项目(FBJG20170025, FBJG20180259)和福建师范大学本科教学改革研究项目(I201701003, I201803032)的资助。

参考文献

- [1] 程守洙, 江之永. 普通物理学 [M]. 第 6 版. 北京: 高等教育出版社, 2016: 42.
- [2] 刘安巍, 付强. 利用非惯性参考系求解高中物理典型习题初探[J]. 林区教学, 2018(1): 67-69.
- [3] 王永柱. 力学问题的惯性系和非惯性系解法对比[J]. 高教学刊, 2016(21): 138-139.
- [4] 刘雁. 参照系变换对物理规律的影响[J]. 物理教学, 2014, 36(9): 12-13.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2169-2556，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：ass@hanspub.org